

**WEST**

Generate Collection

Print



L24: Entry 59 of 63

File: DWPI

Nov 2, 2000

DERWENT-ACC-NO: 2001-151210

DERWENT-WEEK: 200116

COPYRIGHT 2003 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Activation of gallium nitride group compound semiconductor layer used in semiconductor light emitting element involves promoting activation of hydrogen separated from p-type dopant as acceptor of p-type dopant

PATENT-ASSIGNEE: SHARP KK (SHAF)

PRIORITY-DATA: 1999JP-0112430 (April 20, 1999)

## PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
JP 2000306854 A	November 2, 2000		006	H01L021/26

## APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DATE	APPL-NO	DESCRIPTOR
JP2000306854A	April 20, 1999	1999JP-0112430	

INT-CL (IPC): H01 L 21/26; H01 L 33/00

ABSTRACTED-PUB-NO: JP2000306854A

## BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - Light of wavelength within the limits from UV to visible light and fixed strength is radiated onto p-type Ga<sub>1-z</sub>Al<sub>z</sub>N layer (6) and p+-type GaN layer (7) under temperature of 200-500 deg. C in inert gas atmosphere so that bonding of hydrogen within p-type dopant in the layers is removed, then the activation of hydrogen as an acceptor of p-type dopant is promoted.

USE - Activating gallium nitride group p-type compound semiconductor layers e.g. GaN, GaInP, GaAlN and GaInAlN layers used in semiconductor light emitting element and semiconductor laser.

ADVANTAGE - The activation of p-type dopant is improved by isolating hydrogen from the complex which causes the deactivation of dopant and electrically neutralizing the p-type layer by photoirradiation. Since the light of suitable wavelength which is different from the light for electron excitation is used, the activation of p-type layers can be done efficiently.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows section of structure of semiconductor light emitting element.

Ga<sub>1-z</sub>Al<sub>z</sub>N layer 6

P+ type GaN layer 7

ABSTRACTED-PUB-NO: JP2000306854A

## EQUIVALENT-ABSTRACTS:

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-306854

(P2000-306854A)

(43) 公開日 平成12年11月2日 (2000.11.2)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 L 21/26

H 0 1 L 21/26

E 5 F 0 4 1

33/00

33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平11-112430

(22) 出願日

平成11年4月20日 (1999.4.20)

(71) 出願人

000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者

土方 俊樹

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(72) 発明者

矢野 盛規

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(74) 代理人

100064746

弁理士 深見 久郎

Fターム(参考) 5F041 AA21 AA31 CA34 CA40 CA49

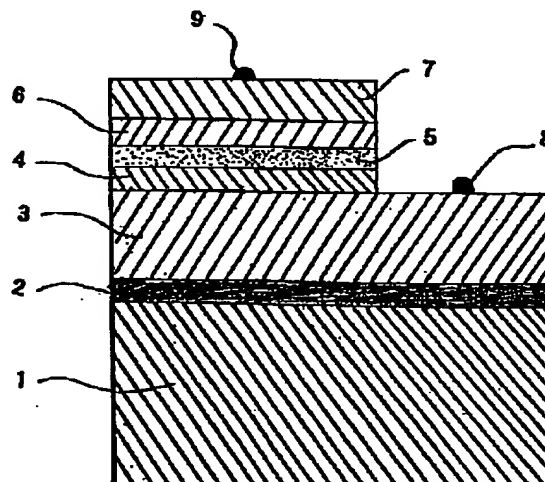
CA57 CA65 CA73 CA77

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系p型化合物半導体層の活性化法

(57) 【要約】

【課題】 窒化ガリウム系p型化合物半導体層の低抵抗化を図る。

【解決手段】 窒化ガリウム系化合物半導体装置に含まれるp型層(6, 7)を活性化する方法は、紫外線から可視光までの範囲内に含まれる波長を含む光を200～500℃の範囲内の温度の下でp型層(6, 7)に照射し、これによってp型層(6, 7)に含まれるp型ドーパントに結合した水素を分離除去して、p型ドーパントのアクセプタとしての活性化を促進することを特徴としている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化ガリウム系化合物半導体装置に含まれるp型層を活性化する方法であって、紫外線から可視光までの範囲内に含まれる波長を含む光を200～500℃の範囲内の温度の下で前記p型層に照射し、それによって、前記p型層に含まれるp型ドーパントに結合した水素を分離除去して前記p型ドーパントのアクセプタとしての活性化を促進させることを特徴とする方法。

【請求項2】 前記p型層の光照射は、一定強度の光の周期的または非周期的な間欠的照射によって行なわれることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記p型層の光照射は、不活性気体中で行なわれることを特徴とする請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】 前記p型層の光照射は、前記半導体装置に含まれる電極を形成する工程の前または後に行なわれることを特徴とする請求項1から3のいずれかの項に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体結晶層中に添加されたドーパントに結合された水素を分離するとともに中性化して除去することによるドーパントの活性を改善する方法に関し、特に、アクセプタ用ドーパントの活性化率を改善することによってp型導電層の低抵抗化を図ることに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】Ga<sub>2</sub>N、GaInN、GaAlN、GaInAlNなどの窒化ガリウム系半導体においては、電子のエネルギー遷移は直接遷移であり、組成の制御によって1.95～6.2eVの範囲でエネルギーバンドギャップを変化させることができ、さらに高い熱的安定性を備えているので、窒化ガリウム系半導体は半導体発光素子のための材料、特に青色から紫外の光を発光させるための発光ダイオードや半導体レーザー用の材料としての期待が高まっている。しかし、窒化ガリウム系半導体によれば、p型ドーパントを添加しても低抵抗層を得ることが容易でなく、窒化ガリウム系p型半導体層を用いて高輝度発光素子を実用化することが困難となっている。

【0003】ところで、MOCVD法による通常の半導体結晶層の成長条件では、結晶成長用の原料ガスや搬送ガスに含まれる水素が結晶構成元素やドーパントと結合して複合物を形成する。そのような水素と結合させられたドーパントにおいてその本来の活性が妨げられる現象が、Si、GaAs、ZnSe、Ga<sub>2</sub>Nなどの半導体材料において知られている。高いキャリア濃度を有するp型またはn型の導電層を実現するためには、複合物を構成するドーパントと水素とを何らかの手段によって分離し、その分離された水素を中性化して除去しなければならない。

【0004】窒化ガリウム系化合物半導体においては、一般にアクセプタ用ドーパントの活性化率が低く、高いホール濃度が得られ難い。特に、不純物エネルギー準位の比較的浅いMgをドーパントとして用いた場合に、その活性化率が一般に低くなる。上述のように、このような活性化率が低い原因は、半導体結晶層の成長時に添加されたアクセプタA<sup>-</sup>にプロトンH<sup>+</sup>が結合して複合物(A<sup>-</sup>H<sup>+</sup>)を形成し、アクセプタの活性が阻害されることにある。このような問題を解決するための先行技術における努力の結果として、複合物(A<sup>-</sup>H<sup>+</sup>)に対して不活性ガス雰囲気中で比較的高温においてアニール処理を施すことによって水素を分離し、かつその水素を結晶外へ排出することによって高濃度p型導電層の活性化率の向上がもたらされ、改善されたpn接合の形成が可能になっている。このような技術は、特開平2-257679や特開平5-183189において開示されている。

【0005】特開平2-257679はi型窒化ガリウム系化合物半導体層に電子線を照射する技術を応用することによって、また特開平5-183189はi型窒化ガリウム系化合物半導体層を400℃以上の温度でアニールする技術を応用することによって、低抵抗の窒化ガリウム系p型半導体層を実現できることを述べている。これらの先行技術文献において、窒化ガリウム系半導体結晶層を気相成長法によって形成するときに、一般に窒素源としてのアンモニアと搬送ガスとしての水素または水素化合物が用いられるが、この気相反応時にイオン化した水素が窒化ガリウム系半導体に添加したアクセプタと結合するので、p型ドーパントのアクセプタとしての働きが妨げられる旨が述べられている。

【0006】前述の特開平2-257679や特開平5-183189に開示された技術によって確かに窒化ガリウム系半導体の低抵抗p型層が形成され得るが、前者の技術ではp型半導体層の深い領域まで電子を照射するために高エネルギーの電子を用いればその半導体層の結晶を損なうことになる。また後者の先行技術によれば、最適なアニール温度が約700℃程度の高い温度であるので、半導体結晶中の窒素の脱離に起因するドナー準位の発生、特に窒化ガリウムインジウム系半導体では窒素の解離温度が低いので40meVのように浅いドナーとして働く窒素空格子点の発生量が大きくなり、その分だけアクセプタが打消されて活性化が妨げられる結果となる。

【0007】したがって、通常の半導体結晶層の成長条件によって得られる半導体層に前述の先行技術による処理を施しても、得られるホール濃度は3×10<sup>17</sup>～8×10<sup>17</sup>/cm<sup>3</sup>程度となり、そのような半導体層を用いてもpn接合や電極のオーミック性などにおいて十分な性能を得ることができず、青色レーザーなどの発光素子の実用化が困難である原因となっている。

【0008】最近では、アクセプタの活性化のためのア

ニール温度を低減させるために有効な電流注入法が、第45回応用物理学界関係連合講演会予稿集30a-ZR-5において報告されている。この報告によれば、アクセプタとしてMgが添加されたGa<sub>2</sub>N層を含む発光ダイオードを形成した後に、このダイオードに順方向の電流を印加した状態でアニールを行なえば、約400℃で水素が解離してMgのドーパントが活性化するというものである。しかし、この方法は低温アニールによるドーパントの活性化の効果を有するものの、半導体デバイスの製作工程として実用化することを考慮すれば、その工程

【0009】

【発明が解決しようとする課題】窒化ガリウム系半導体に関連して既に述べられたように、p型ドーパントの活性化が水素によって妨げられる現象は、セレン化亜鉛、砒化ガリウム、シリコンなどにおいても観察され、種々の半導体材料に共通する課題である。そして、前述のように、現状ではp型層の低抵抗化は不十分であり、半導体デバイスの作製の上で重要な課題になっている。

【0010】たとえば、高輝度発光素子用の材料として現在注目されているGa<sub>2</sub>N、GaAlN、GaInNなどにおいては、p型導電層を結晶成長させるに際して、一般的にはより浅いアクセプタ準位を形成する目的のために160meVの準位を持つMgがドーパントとして添加される。このアクセプタA<sup>-</sup>は、MOCVDによる結晶成長中にその結晶層内に入り込んだプロトンH<sup>+</sup>と会合すれば、電気的に結合して複合物MgHを生成する。

【0011】特開平5-183189は、p型層の成長後に、この層を複合物MgHが分解する400℃以上の温度でアニールすることによってMgドーパントを活性化し得ることを述べている。しかしながら、この熱エネルギーによる分解方法では複合物MgHを十分には分解し得ず、また分離したプロトンH<sup>+</sup>の中性化が不十分であるために残留水素が多くなる。したがって、熱エネルギーのみによる分解によってはMgドーパントが十分にアクセプタとして活性化され得ず、その活性化率はせいぜい1%程度であり、p型導電層の低抵抗化に関して依然として課題が残されている。

【0012】他方、窒化ガリウム系半導体の結晶層を気相成長法によって成長させれば、一般にn型導電層が形成されやすいという性質がある。したがって、p型導電層を形成する場合に、アクセプタとしてBe、Mg、Ca、Zn、Cdなどのドーパントを添加しても、十分には高いキャリア濃度が得られないという問題がある。この主たる原因としては、半導体結晶層がその成長中に約1000℃前後の比較的高い温度の雰囲気中にさらされ、その雰囲気中の窒素分圧が低ければ成長結晶中で窒素の解離を生じて窒素格子点に空格子点が形成され、この窒素

空格子点がドナーとして働くことが挙げられる。このように生成する窒素空格子点の量は半導体結晶層の成長条件に依存して著しく変化し、約 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ の範囲で変化するといわれている。一般的には、p型導電層の形成においては、p型ドーパントを多めに添加することによって生じるアクセプタで窒素空格子点のドナーを補償し、これによってアクセプタ濃度を増大させ得るはずである。しかし、実際には気相成長させられたp型導電層中のアクセプタ濃度は、 $10^{18} / \text{cm}^3$ のオーダーで飽和に達する。

【0013】以上のような先行技術の課題に鑑み、本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体結晶のp型導電層中のアクセプタ用ドーパントを簡便かつ効率的に活性化し、それによって低抵抗のp型導電層を得ることを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、窒化ガリウム系化合物半導体装置に含まれるp型層を活性化する方法は、紫外線から可視光までの範囲内に含まれる波長を含む光を200～500℃の範囲内の温度の下でp型層に照射し、これによって、p型層に含まれるp型ドーパントに結合した水素を分離除去してp型ドーパントのアクセプタとしての活性化を促進させることを特徴としている。

【0015】p型ドーパントをアクセプタとして活性化するための光照射は、一定強度の光の周期的または非周期的な間欠的照射によって行なわれてもよい。

【0016】また、p型層の光照射は不活性気体の雰囲気中に行なわれ得る。さらに、p型層に対する光照射は、半導体装置に含まれる電極形成の工程の前または後のいずれにおいても行なうことができる。

【0017】すなわち、本発明においては、たとえば半導体発光装置に含まれるp型発光層やp型クラッド層としてのp型導電層を形成するに際して、そのようなp型導電層に対して紫外線から可視光に含まれる波長を含む光を照射することによって、直接的にドーパントと水素との複合物からプロトンを分離させる。このとき、光照射によって発生した電子がその電気エネルギーによって複合物MgHからプロトンを分離した上に中性化する働きをも果たすので、p型ドーパントの活性化が効果的に促進され、そのp型導電層を含む半導体デバイスの性能改善がもたらされる。

【0018】半導体デバイスに通電するための陽極と陰極を形成する前にp型導電層内に電子を生じさせる手段としては、窒化ガリウム系半導体のバンドギャップエネルギーよりも大きなエネルギーを有する光、すなわち紫外線から可視光の範囲内の波長を含む光を照射すればよい。このとき、少なくともドーパントと結合しているプロトンの数より多い電子を生成する必要があるが、電子の発生と同時に発生するホールとの再結合割合などを考慮す

れば、プロトンより1桁から2桁程度多い電子をp型導電層内に発生させ得る光エネルギーと光量を照射して複合物( $Mg^{-}-H^{+}$ )からの水素の解離と中性化を促進することが望まれる。

【0019】言換えれば、本発明によるp型層の活性化方法はその活性化のための電極の形成を必要とせずかつ比較的低温度において光を照射するだけで達成され得る極めて簡便な方法であるが、光照射によって電子と同時にホールも発生するという問題が付随する。しかし、複合物からの水素の解離を効果的にするためには、光照射強度を大きくして電子ホールペアの発生数を増大させ、またp型導電層を不均一に光照射することによって電子とホールの拡散分布を制御することができる。このようにして、電子とホールとの直接再結合による電子の消滅確率を少なくすることができ、それによって複合物からの水素の解離に寄与すべき電子を増大させることができる。このような現象の詳細な機構については必ずしも明らかではないが、発生した電子が複合物( $Mg^{-}-H^{+}$ )中の $H^{+}$ のある範囲に接近したときに $Mg^{-}$ と電気的に結合していたプロトン $H^{+}$ が電子の電荷 $e^{-}$ によって中和され、その水素が中性化される作用が基礎となっている現象と考えられる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下において、本発明の実施の形態について説明する。ただし、以下の実施の形態は本発明の技術的思想の具体化を例示するものであり、本発明の方法は例示された材料の組成、結晶成長条件、気相成長ガスの種類などによって限定されるものではない。

【0021】図1の模式的な断面図において、本発明が適用され得る窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の一例が示されている。このような発光素子において、基板1としてサファイア、 $MgAl_2O_4$ 、 $GaN$ 、 $MgO$ 、 $SiC$ 、 $Si$ 、 $ZnO$ などの材料が使用され得るが、通常はサファイアが用いられる。基板1上の $GaN$ バッファ層2を成長させるときにMOCVD法が用いられる場合、搬送ガスとして水素を用い、原料ガスとしてアンモニア( $NH_3$ )とトリメチルガリウム(TMG)が用いられ得る。

【0022】 $GaN$ バッファ層2上には、 $n^{+}$ 型 $GaN$ 層3、 $n$ 型 $GaAlN$ 層4、 $n$ 型 $GaInN$ 層5、p型 $GaAlN$ 層6、および $p^{+}$ 型 $GaN$ 層7が、発光素子を形成するために適したそれぞれのキャリア濃度と厚さを有する層として連続的に成長させられる。本発明はp型導電層であるp型 $GaAlN$ 層6と $p^{+}$ 型 $GaN$ 層7のキャリア濃度を向上させるために利用することができる。高キャリア濃度のp型導電層を得るために、水素結合したアクセプタから水素を解離させてアクセプタとしての活性化率を増大させることができる。

【0023】窒化ガリウム系半導体においては、アクセプタとして働くべき $Be$ 、 $Mg$ 、 $Ca$ 、 $Zn$ 、 $Cd$ など

のp型ドーパントの活性化効率が低く、高いホール濃度を得ることが困難である。特に、160meVの浅い不純物準位を形成し得るp型ドーパントである $Mg$ を用いた場合には、熱アニール処理を施してもその活性化率が約1%程度であって、得られるホール濃度の約 $5 \times 10^{17}/cm^3$ 程度までのように低いものである。

【0024】本発明の方法によれば、200~500℃の範囲内のたとえば約300℃の比較的低温においてp型導電層に光を照射して電子群を励起生成させ得る。電子群の励起生成を高めるためにはp型導電層のバンドギャップに相当するエネルギーを有する光を照射すればよいが、一般に半導体デバイスにおいては互いに異なる複数のバンドギャップを有する複数のP型導電層を含む場合があるので、その場合には紫外から赤色までの範囲内で適切な異なる複数の波長を含む混合光を照射することが好ましい。

【0025】本発明の処理方法では水素結合したドーパントから電子によって水素分離とその中性化を行なうので、ドーパントの活性化を促進するための加熱温度としては約300℃前後の比較的低い温度で十分である。この処理温度が300℃程度の比較的低温であることは、窒化ガリウム系半導体のp型導電層の活性化において重要な意義を有している。すなわち、従来の比較的高温における活性化法に比べて、蒸気圧の高い窒素の脱離とそれに起因するドナーとして作用する窒素空格子点の生成の抑制が可能となり、p型キャリア濃度の制御性が高められる。

【0026】なお、本発明の方法における電子群励起用光源の光強度は、ドーパントの活性化のためには高い方が好ましいが、結晶欠陥などに起因する局部吸収熱による結晶の損傷が生じる懸念もあるのであまりに高いことも好ましくなく、たとえば250mW/cm<sup>2</sup>程度の光強度が好ましく用いられ得る。

【0027】図2は、本発明を利用してp型ドーパントである $Mg$ を添加した窒化ガリウム層が低抵抗のp型層に改善されることを示すグラフである。このグラフにおいて、横軸はp型層の光照射時の温度(℃)を表わし、縦軸は光照射後の抵抗率( $\Omega \cdot cm$ )を表わしている。図2の測定においては、サファイア基板上にMOCVD法によって $GaN$ バッファ層を形成し、その上にp型ドーパントとしての $Mg$ を添加しつつ $GaN$ 層が3.5 $\mu m$ の厚さに成長させられた。その後、窒素雰囲気中においてp型 $GaN$ 層に対して種々の温度で250mW/cm<sup>2</sup>の紫外線が20分間パルス照射された。図2から明らかなように、p型 $GaN$ 層の抵抗率は約200℃の光照射温度から減少し始め、約400℃以上の温度における光照射によってほぼ一定の低抵抗値となる。このことから、本発明によるp型導電層の活性化方法は顕著な効果を有することが明らかである。

【0028】このような本発明によるp型ドーパントの

活性化の方法を利用して窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を製造した実施例について、以下において説明する。

#### 【0029】

【実施例】(実施例1) 図1を参照して、十分に洗浄されたサファイア基板1がMOCVD反応管中に配置され、このサファイア基板を1100℃まで加熱して水素の搬送ガスを流しながら熱クリーニングが行なわれた。そして、基板温度が500℃まで下げられた後に、搬送ガスとしての水素と原料ガスとしてのTMGおよびNH<sub>3</sub>を用いて、サファイア基板1上に厚さ20nmのGa

Nバッファ層2が成長させられた。  
【0030】その後TMGガスを停止して基板温度を1030℃に上昇させてから、原料ガスとしてのTMGおよびNH<sub>3</sub>とともにドナー用ドーパントとしてのSiを添加するためのドーパントガスとしてシランガスSiH<sub>4</sub>が供給され、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ のキャリア濃度を有する陰極コンタクト用n<sup>+</sup>型Ga<sub>0.8</sub>Al<sub>0.2</sub>N層3が3.5μmの厚さに成長させられた。これに続いて、Siの添加量を減少させるためにSiH<sub>4</sub>ガスの流量を減少させ、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のキャリア濃度を有する厚さ0.5μmのn型Ga<sub>0.8</sub>Al<sub>0.2</sub>Nクラッド層4が成長させられた。

【0031】n型クラッド層4の成長後、原料ガスとドーパントガスの両方を停止し、基板温度を800℃に下げて搬送ガスを水素から窒素に切換えけるとともに、原料ガスとしてのTMG、TMI（トリメチルインジウム）、およびNH<sub>3</sub>と、ドーパントガスとしてのSiH<sub>4</sub>とを用いて、厚さ10nmのn型Ga<sub>0.85</sub>In<sub>0.15</sub>N層5が成長させられた。

【0032】さらに、原料ガスとドーパントガスを停止して基板温度を1030℃に昇温し、原料ガスとしてのTMG、NH<sub>3</sub>、およびTMA（トリメチルアルミニウム）と、ドーパントガスとしてのCp<sub>2</sub>Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用いて、Mgが添加されたp型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>N層6が0.2μmの厚さに成長させられた。その後、TMAを停止し、Cp<sub>2</sub>Mgの流量を増大させて陽極コンタクト用p<sup>+</sup>型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>N層7が0.3μmの厚さに成長させられた。

【0033】p<sup>+</sup>型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>N層7の成長後、基板1がMOCVD反応管から取出され、基板上の半導体層に対して光照射処理が行なわれた。この光照射処理条件としては、Ga<sub>0.8</sub>Al<sub>0.2</sub>NとGa<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>Nのバンドギャップエネルギーにはほぼ対応する波長337nmの紫外線を発光するパルス発振N<sub>2</sub>レーザ（パルス幅10ns）を光励起光源として用い、その照射光の強度は250mW/cm<sup>2</sup>であり、窒素雰囲気中で450℃の温度条件の下で20分間の光照射が行なわれた。

【0034】以上のようにして得られた半導体積層構造において、p<sup>+</sup>型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>Nコンタクト層7上に周知の方法で陽極9を形成するとともにn<sup>+</sup>型Ga<sub>0.8</sub>Al<sub>0.2</sub>Nクラッド層3

上に陰極8を形成することによって、500μm角の発光ダイオードが作製された。この発光ダイオードにおいて、順方向電圧3.4Vと順方向電流20mAの状態において、407nmの発光波長と1.7mWの発光出力を有する均一発光が得られた。

【0035】(実施例2) 実施例2においても、実施例1に類似して発光ダイオードが作製された。実施例2においては、光励起用の光源として2種類のレーザが用いられたことのみにおいて実施例1と異なっている。すなわち、実施例2においては光励起用光源として、波長337nmの紫外線を発光するH<sub>2</sub>パルスレーザと波長488nmの青色光を発光する連続発振Arイオンレーザが用いられた。パルス発振N<sub>2</sub>レーザに関しては10nsのパルス幅と150mW/cm<sup>2</sup>の光照射強度が用いられ、連続発振Arイオンレーザに関しては100mW/cm<sup>2</sup>の光強度が用いられた。こうして得られた実施例2の発光ダイオードの特性を測定した結果、3.3Vの順方向電圧と20mAの順方向電流の下において、407nmの発光波長と1.8mWの発光出力を有する均一な発光特性が得られた。

#### 【0036】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、窒化ガリウム系化合物半導体のp型導電層に対してそのバンドギャップエネルギーに相当するエネルギーを有する光を照射することによって、アクセプタ型ドーパントの不活性化の原因となっている複合物(A<sup>-</sup>H<sup>+</sup>)から水素を分離しかつ電氣的に中性化することによって、p型ドーパントの活性化を著しく改善することができる。また、本発明の方法において電子励起用光として互いに異なる適切な複数の波長を含む光を用いることによって、たとえば半導体レーザに含まれるように互いに異なるバンドギャップを有する複数のp型導電層の活性化をも効率よく行なうことができる。さらに、本発明の光照射を利用したp型層の活性化方法は、その処理工程が簡便であるので生産工程の見地からも大きな価値を有するものである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用し得る半導体発光素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図2】本発明の方法による光照射によってp型層の低抵抗化の効果を示すグラフである。

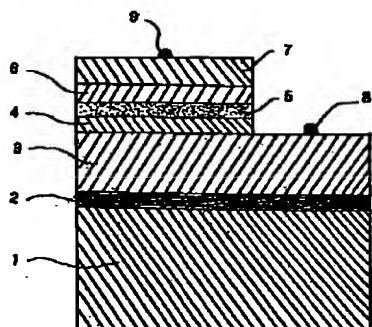
#### 【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 バッファ層
- 3 n<sup>+</sup>型Ga<sub>0.8</sub>Al<sub>0.2</sub>N層
- 4 n型Ga<sub>0.8</sub>Al<sub>0.2</sub>N層
- 5 n型Ga<sub>0.85</sub>In<sub>0.15</sub>N層
- 6 p型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>N層
- 7 p<sup>+</sup>型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>N層
- 8 陰極
- 9 陽極

(6)

特開2000-306854

【図1】



【図2】

